

# ÓXIDOS DE Nb-Ta DE LAS PEGMATITAS GRANÍTICAS DE GIRAÚL, ANGOLA

A.O. GONÇALVES <sup>(1)</sup>, P. ALFONSO <sup>(2)</sup>, J.C. MELGAREJO <sup>(3)</sup>, A. BUTA NETO <sup>(1)</sup> Y A. PANIAGUA <sup>(4)</sup>

<sup>(1)</sup> Departamento de Geología, Faculdade de Ciências, Universidade Agostinho Neto. Avda. 4 de Fevereiro N° 71. Caixa postal, 815 Luanda, Angola, (tonyolympio72@hotmail.com, mlmoraes@netangola.com, anbuneto@hotmail.com)

<sup>(2)</sup> Instituto de Ciencias de la Tierra Jaume Almera del CSIC, c/ Lluís Solé i Sabarís s/n 08028 Barcelona palfonso@ija.csic.es

<sup>(3)</sup> Departament de Cristal·lografia, Mineralogí i Dipòsits Minerals. Facultat de Geologia, Universitat de Barcelona. Martí i Franquès, s/n. 08028 Barcelona (joanc@natura.geo.ub.es)

<sup>(4)</sup> Departamento de Ciencias de la Tierra, Universidad de Zaragoza. Pedro Cerbuna, 12. 50009 Zaragoza (paniagua@unizar.es).

## INTRODUCCIÓN

Actualmente unos pocos elementos, entre ellos el Nb y el Ta, son conocidos como «elements for the future», debido a sus particulares aplicaciones en sectores económicos clave. Las pegmatitas graníticas constituyen una de las fuentes principales de estos elementos. En el SW de Angola, cerca de la ciudad de Namibe, a lo largo del s. XX se efectuaron exploraciones para estos elementos y Be en un campo pegmatítico situado a lo largo del río Giraúl. Trabajos de campo preliminares permitieron catalogar las pegmatitas como de los subtipos de berilo-columbita-fosfato (Gonçalves et al., 2005). En este campo pegmatítico los minerales de Nb-Ta son comunes en las pegmatitas más evolucionadas. El objetivo de este trabajo es la caracterización en términos de química mineral de los minerales de Nb-Ta del campo de Giraúl, así como establecer sus condiciones de formación en relación con los procesos de cristalización de las pegmatitas.

## GEOLOGÍA DEL ÁREA

A grandes rasgos, en la zona estudiada se diferencian tres grandes elementos: a) materiales del basamento Arcaico (series detríticas y volcánicas, deformadas, metamorfizadas e intruidas por granitoides y pegmatitas); b) fallas y vulcanismo asociado del Jurásico Superior-Cretácico Inferior; c) cobertera del Cretácico Inferior.

Las series del Arcaico están constituidas por alternancias de esquistos moscovítico-biotíticos (color oscuro en afloramiento) con areniscas (colores claros). Estas series corresponden a depósitos submarinos turbidíticos, y los situados en la zona norte son más proximales que los situados al sur. En estas series se intercalan paquetes hectométricos de rocas volcánicas básicas. Estas rocas han sido afectadas por un metamorfismo regional en facies anfibolitas y por dos estadios de plegamiento precámbricos, el principal de los cuales tiene una dirección aproximada N120E. Localmente llega a producirse anatexia en los niveles pelíticos, con desarrollo de migmatitas.

La composición de los granitoides comprende desde dioritas hasta leucogranitos biotítico-moscovíticos ricos en granate; no obstante, predominan los más ácidos. Los afloramientos de granitoides se disponen según una franja Noreste-Suroeste, emplazada en el núcleo de los pliegues y ocupando el centro del campo pegmatítico. Estos intrusivos están asociados al intervalo entre las dos prin-

cipales fases de deformación, puesto que se aprecia una foliación en los mismos. Este intervalo corresponde al climax metamórfico. En los términos evolucionados (leucogranitos moscovítico-biotíticos) aparecen como minerales accesorios chorlo, apatito y almandino.

Las pegmatitas graníticas se disponen en el interior de los cuerpos graníticos o en el exterior de los mismos (Fig. 1). Estas pegmatitas se encuentran generalmente en forma de diques, dispuestos según la foliación dominante, pero es común encontrar en los esquistos cuerpos de pegmatitas afectados por boudinage o incluso por foliación, sugiriendo un emplazamiento anterior a la última fase de plegamiento. Se ha distinguido diversos tipos de pegmatitas en función de su encajante, estructura interna y mineralogía: pegmatitas tipo I (estériles, poco estructuradas y sin zonas de reemplazamiento tardío, encajadas en granitos y con aspecto de diferenciados de los mismos); tipo II (estériles, encajadas en rocas metamórficas y con estructura interna zonada), tipo III (con mineralización de Nb-(Ta), encajadas en rocas metamórficas y con estructura interna zonada), tipo IV (subtipo berilo-columbita-fosfatos, con mineralización de Nb-(Ta), ricas en fosfatos de Li, encajadas en rocas metamórficas y con estructura zonada y reemplazamientos), y tipo V (subtipo de espodumena, con mineralización de Nb-Ta, ricas en espodumena, lepidolita y fosfatos de Li, encajadas en rocas metamórficas y con estructura zonada y reemplazamientos).

Por otra parte, se distingue un conjunto de fallas con juego sinistral, con direcciones Noreste-Suroeste y aproximadamente Noreste-Suroeste. Estas fallas cortan al campo pegmatítico, distorsionando su zonación, y favorecen la intrusión de diques de diabasas. Estos diques tienen anchura de orden hectométrico, y varios kilómetros de longitud. Dicha fracturación y el magmatismo tardío pueden estar asociados al sistema de rift angoleño y a la apertura del Atlántico.

Finalmente, sobre el conjunto de materiales arcaicos se disponen, de forma discordante, materiales del Cretácico Inferior: paquetes de conglomerados, areniscas, y, localmente, rocas volcánicas básicas.

## MINERALOGÍA Y COMPOSICIÓN DE LOS ÓXIDOS DE Nb-Ta

En las pegmatitas del subtipo berilo-columbita-fosfatos de Giraúl los minerales de Nb-Ta más comunes son los del grupo de la columbita. Los minerales del grupo del

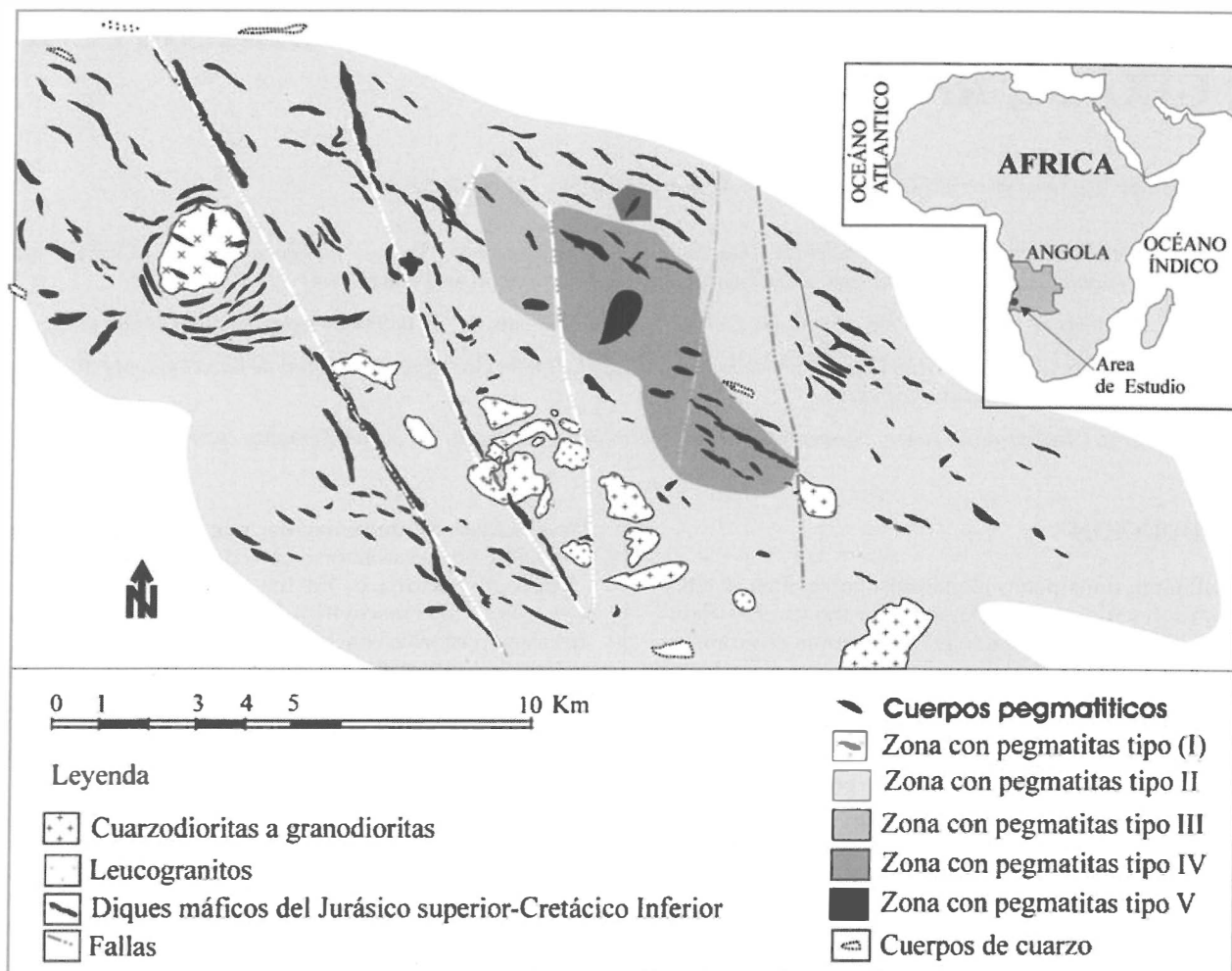


Figura 1: Campo pegmatítico de Giraúl, con la situación de los diferentes tipos de pegmatitas

pirocloro son poco importantes en este grupo de pegmatitas, mientras que en las pegmatitas del tipo espodumena ambos grupos son igualmente abundantes.

### Grupo de la columbita

Los cristales de columbita-tantalita son normalmente idiomórficos o subidiomórficos con un tamaño de hasta pocos mm, aunque en algunos casos pueden tener hasta un centímetro. La composición de estos minerales aparece representada en el cuadrilátero de la columbita (Fig. 2a).

En las pegmatitas de berilo-columbita-fosfato aparecen en la primera y segunda zona intermedia. Los cristales de la primera zona intermedia corresponden al término ferrocolumbita; no presentan zonación o ésta es de tipo convolucionado. Esta zonación es debida principalmente a variaciones en la relación  $Ta/(Ta+Nb)$ , la cual oscila entre 0.08 y 0.34. La relación  $Mn/(Mn+Fe)$  se encuentra en un estrecho rango, entre 0.17 y 0.36; no obstante, existen también cristales de manganocolumbita, con una relación  $Mn/(Mn+Fe)$  de 0.78-0.82. En la segunda zona intermedia el rango de valores en la relación  $Ta/(Ta+Nb)$  y  $Mn/(Mn+Fe)$  es más amplio. Según su composición podemos agrupar las muestras en tres grupos a) Muestras formadas por cristales idiomórficos no zonados o con una zonación poco marcada y de tipo convolucionado, correspondiendo a ferrocolumbitas con poca zonación química, muy pobres en Ta,  $Ta/(Ta+Nb)$  es 0.06 - 0.15 y  $Mn/(Mn+Fe)$  similar a los cristales de la primera zona intermedia, 0.21 - 0.30. b)

Cristales idiomórficos con zonado convolucionado muy acusado debido a una variación principalmente en la relación  $Ta/(Ta+Nb)$ , variando desde ferrocolumbitas hasta ferrotantalitas; la relación  $(Ta/(Ta+Nb))$  es 0.24-0.57. En este caso la  $Mn/(Mn+Fe)$  es algo más elevada, 0.34-0.44. c) cristales idiomórficos a subidiomórficos que presentan una parte central con zonado convolucionado poco marcado rodeados por una zona externa con un zonado concéntrico más marcado, con varias alternancias en el valor de la relación  $Ta/(Ta+Nb)$ ; corresponden a manganocolumbitas y manganotantalitas; la relación  $(Ta/(Ta+Nb))$  es 0.29-0.59 y  $Mn/(Mn+Fe)$  es 0.72-0.89.

En el resto de pegmatitas estos cristales corresponden a una tendencia pobre en Mn y rica en Fe en donde los términos van desde ferrocolumbita a ferrotantalita.

El  $WO_3$  puede llegar hasta un 2.7% en peso, el  $TiO_2$  llega hasta un 1.9% en peso y el Sn hasta un 0.6% en peso, pero los valores más frecuentes de estos óxidos son inferiores al 1% en peso. Y, Sb, Pb, Ca, Mg y Bi son normalmente muy bajos.

### Stibiocolumbita-Stibiotantalita

Se encuentra en pegmatitas de berilo-columbita-fosfato, en vetas que aparecen reemplazando óxidos de Nb-Ta preexistentes. Aunque su contenido en Mn y Fe es bajo, usualmente inferior al 1% en peso, tanto la relación  $Mn/(Mn+Fe)$  como la  $Ta/(Ta+Nb)$  preserva los valores de los minerales que encajan las vetas (Fig. 2a). El

$\text{Sb}_2\text{O}_3$  oscila entre un 40 y un 48% en peso y el  $\text{Y}_2\text{O}_3$  es elevado, 2.6-3.4% en peso. El contenido en  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  es despreciable.

### Grupo del pirocloro

Los óxidos presentes que forman parte de este grupo en las pegmatitas de berilo-columbita y berilo-columbita-fosfato corresponden en su mayoría a pirocloro (Fig. 2b), si se exceptúa la muestra que en el caso de la columbita-tantalita da una composición correspondiente a la tendencia de elevado  $\text{Mn}/(\text{Mn}+\text{Fe})$  en la que se halla microlita. La pegmatita del tipo espodumena presenta siempre una composición correspondiente a la microlita.

En las pegmatitas de berilo-columbita-fosfato el pirocloro puede ser uranopirocloro, estibiopirocloro o plumbopirocloro. En el estibiopirocloro el contenido en U es despreciable, mientras que parece existir una cierta solución sólida entre el uranopirocloro y el plumbopirocloro. El  $\text{TiO}_2$  es inferior al 2% excepto en el plumbopirocloro, donde oscila entre 4.2 y 6.2 % en peso. El Sn, Th y Bi son siempre despreciables. El Y es casi nulo excepto en el estibiopirocloro donde llega a 0.5%. El Mn y Fe generalmente presentan valores inferiores al 1% pero en algún caso llegan al 2 y 8 % respectivamente. El CaO y el SrO son muy variables, pudiendo llegar hasta un 2.9% y 3.8% en peso respectivamente. El BaO suele presentar valores inferiores al 0.3% pero en algún caso llega hasta 1.8%. El Na es inferior al 15 excepto en el estibiopirocloro donde llega hasta un 3.7%. El F siempre es inferior al 0.3%.

Las pegmatitas de berilo-columbita se caracterizan por la presencia de bismutopirocloro; el contenido en  $\text{Bi}_2\text{O}_3$  oscila entre 14 y 21.0%. Presenta un elevado contenido en  $\text{UO}_2$  (entre 5.2 y 8.4% en peso) y PbO (hasta un 10.8% en peso).

En la pegmatita de espodumena se distinguen dos ge-

neraciones de microlita con una marcada diferencia entre la composición de ambas. Una de ellas es rica en Ca (9.5-11.0% CaO), Na (5.5-6.5%) y F (4.9-6.2%). La otra es una uranomicroilita, con 13.0-16.0% en peso de  $\text{UO}_2$ , con un contenido en F de hasta 1.5% en peso y PbO hasta 3% en peso. La microlita correspondiente a la pegmatita de berilo-columbita-fosfato presenta una composición similar a este segundo tipo.

### DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Aunque existen términos ricos en Mn, en general la tendencia que siguen los cristales de Nb-Ta de las pegmatitas de Giraúl es a variaciones en la relación Ta/(Ta+Nb). La variación en la relación  $\text{Mn}/(\text{Mn}+\text{Fe})$  es escasa a escala de cristal, sin embargo esta varía según la zona en la que se encuentre el cristal.

En las pegmatitas de Giraúl se aprecia la tendencia general a un incremento en la relación Ta/(Ta+Nb) con la evolución (Ěerný et al., 1995) y es atribuida a una mayor solubilidad del termino tantalita respecto a columbita en los fundidos pegmatíticos (Linnen y Keppler, 1997). La variación en la relación  $\text{Mn}/(\text{Mn}+\text{Fe})$  está en dependencia de las otras fases minerales que contienen los que cocrystalizan con estos óxidos. El zonado oscilatorio presente en la mayoría de los cristales de columbita-tantalita indica reacciones posteriores a la formación de los mismos (Tindle y Breaks 2000). Los cristales que presentan una zonación concéntrica rodeando la convolucionada, con elevada relación  $\text{Mn}/(\text{Mn}+\text{Fe})$  se habrían formado en una etapa más tardía. La ocurrencia en vetas de la estibiocolumbita indica que se trata de un mineral tardío formado a partir de la reacción de los fluidos hidrotermales con los óxidos de Nb-Ta preexistentes. El mismo origen tendría la bismutocolumbita.

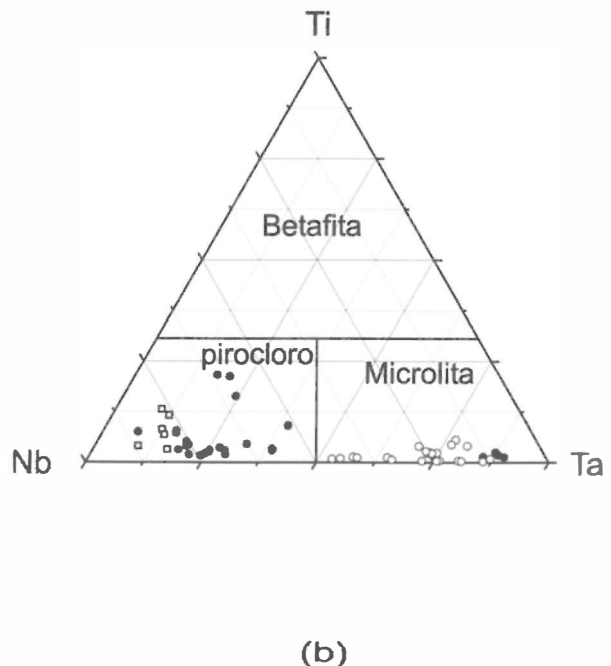
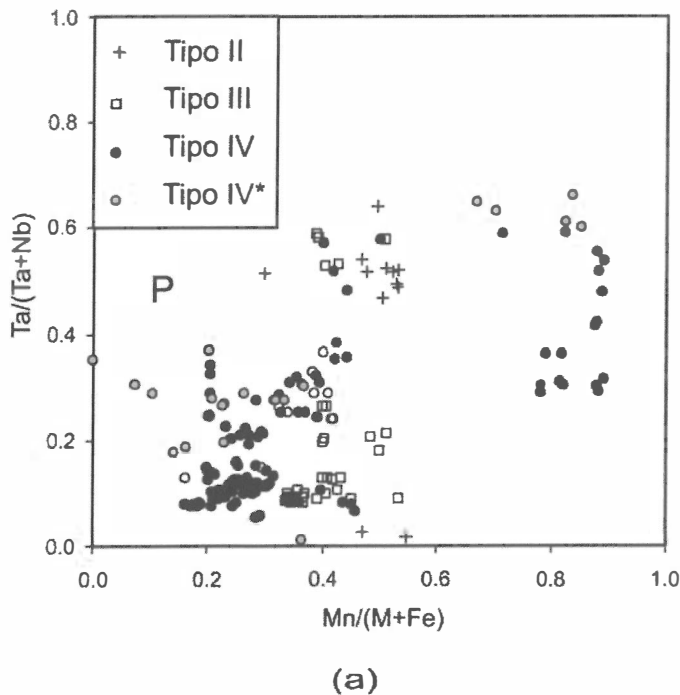


Figura 2: Características composicionales de los óxidos de Nb-Ta de las pegmatitas de Graúl: a) Variación en las relaciones  $\text{Mn}/(\text{Mn}+\text{Fe})$  y  $\text{Ta}/(\text{Ta}+\text{Nb})$  de los minerales del grupo de la columbita.; b) diagrama Nb-Ti-Ta de los minerales del grupo del pirocloro; c) diagrama U+Pb-Sb+Bi-Ca+Sr+Na de los minerales del grupo del pirocloro. Las letras indican las diferentes pegmatitas a que pertenecen las muestras. Tipo IV\* representa la composición de la estibiocolumbita de las pegmatitas de tipo IV.

Los óxidos del grupo del pirocloro presentan una gran variedad composicional. El contenido en Nb-Ta refleja el de la columbita-tantalita de su alrededor y la gran riqueza en diversos elementos (U, Sb, Pb, Ca, Sr) indicaría el origen metasomático de estos minerales. Por consiguiente, estos minerales se forman a partir de la reacción de fluidos hidrotermales cargados en esos componentes con óxidos de Nb-Ta preexistentes. Los contenidos de Fe y Mn son muy bajos en el pirocloro, lo que indicaría que en este proceso, a diferencia del Nb y Ta estos elementos son movilizados durante este proceso de alteración (Novák 2003; Ěerný et al., 2004).

## REFERENCIAS

- Ěerný, P., Alfonso, P., Melgarejo, J.C. (1997). Atlas d Asociaciones Minerales en lámina delgada. Ed Univ. de Barcelona, 129-152.
- Ěerný, P., Chapman, R., Ferreira, K., Smeds, S. (2004). Amer. Mineral., 89, 505-518.
- Linnen, R.L., Keppler, H. (1997). Contrib. Mineral. Petrol., 28, 213-227.
- Novák, M., Ěerný, P., Cempírek, J., Šereín, V., Filip, J. (1985). Can. Mineral., 42, 1117-1128.
- Tindle, A.G., Breaks, E.W. (2000). Mineral. Petrol., 70, 165-198.